

発電用小型ガソリン機関の燃焼特性に及ぼすアルコール系燃料添加の影響に関する一考察

著者	鈴木 達
出版者	法政大学大学院理工学・工学研究科
雑誌名	法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編
巻	62
ページ	1-5
発行年	2021-03-24
URL	http://doi.org/10.15002/00023887

発電用小型ガソリン機関の燃焼特性に及ぼす アルコール系燃料添加の影響に関する一考察

A STUDY ON THE EFFECT OF ALCOHOL FUEL ADDITION ON THE COMBUSTION CHARACTERISTICS OF A SMALL GASOLINE ENGINE FOR ELECTRIC POWER GENERATOR

鈴木 達

Tatsu SUZUKI

指導教員 川上忠重

法政大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程

This experiment has been carried out to examine the effects of addition of ethanol, 1-butanol and hydrous-ethanol on combustion characteristics on small gasoline engine for generation of electric power. The main conclusions are as follows ; 1) It is possible to reduce the CO and HC emissions by using ethanol addition fuel. 2) The value of VRCOV at any blended fuel increased under high engine load. 3) Uniform stabilization of fluctuations in combustion product emission concentration was NOT observed with the addition of 1-Butanol.

Key Words: alternative fuel, emissions gas, experimental study, carburetor

1. 緒言

小型エンジン発電機は持ち運びが比較的容易であることから、災害時など電力供給が寸断された状況や一時的な電源としても活用されている。しかし、当然ながら発電には燃料を必要とし、家庭用ではその可能な貯蔵量は消防法によって規定されているため、燃料輸送のみならずライフライン維持に向けた安定供給が必要不可欠である。

そこで、本研究では激甚災害時を含む緊急発電が必要な場合の代替燃料として着目されているエタノール、エタノール水溶液、1-ブタノールを用いて、小型ガソリン機関の安全・安心な利用を実現するために、まず手始めとして、燃焼生成物(CO, HC, NO_x)排出濃度に関する検討を行った。併せて、排出された燃焼生成物濃度の変動割合について考察した。

2. 実験方法

(1) 実験装置

実験装置の概略を Fig. 1 示す。供試機関には燃料供給方法がキャブレターである本田技研工業株式会社製 4 サイクル空冷単気筒エンジン GX80D を用いた。負荷制御にはヒータを用いて 0W, 80W, 200W, 500W, 700W の 5 段階に設定し、約 10 分間暖機運転した後、AVL 社製 Di-com4000 を用いて各負荷における燃焼生成物濃度を測定した。各濃度のプロット点は 30 点データの算術平均値とした。

(2) 試験燃料

本研究では試験燃料として Gasoline, Ethanol(99.5), 1-Butanol

(富士フィルム和光純薬株式会社製)、エタノール水溶液調製用精製水(株式会社 MonotaRO 製)を用いた。Table 1 に各燃料の特性値、及び Table 2 に各試験燃料の体積成分割合をそれぞれ示す。なお、ガソリンにエタノール水溶液を添加する条件(GHE)では、エマルジョン化するため、界面活性剤として Sorbitan Monooleate, Polyoxyethylene(20)Sorbitan Monooleate(富士フィルム和光純薬株式会社製)を用いた。界面活性剤はHLB値が7になるよう調整し、Gasoline, Ethanol, Water 混合液に対して 2vol.% 添加した。混合手段、速度及び時間等の混合方法は、調製されるエマルジョン燃料及びその燃焼特性に影響を及ぼす事が知られているため詳細な検討が必要であるが、本実験では手始めとして、アズワン株式会社製 Magnetic stirrer (RS-1D) を用いて約 4 分間 800rpm で攪拌し、調製したエマルジョン燃料を用いた。

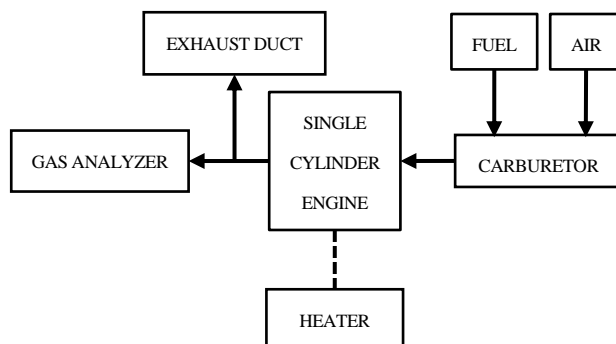


Figure 1 schematic of the experimental setup

Table 1 Physicochemical properties of gasoline and alcohols

Properties	Gasoline	Ethanol	1-Butanol
Chemical formula	C ₅₋₁₀ H ₁₂₋₂₂	C ₂ H ₅ OH	C ₄ H ₉ OH
Lower heating value [kJ/kg]	44300	26800	32010
Latent heat of vaporization [kJ/kg]	349	900-920	584
Research octane Number	90-100	109	96
Boiling point [°C]	27 - 225	78.4	117.7
Saturation pressure [kPa@38°C]	31	13.8	2.27
Stoichiometric A/F ratio	14.6	8.97	11.19
C/H ratio	0.444	0.33	0.4
O content	-	0.11	0.07
Density [g/ml@20°C]	0.72	0.789~0.791	0.808~0.811
Kinematic viscosity [mm ² /s@20°C]	0.6	1.5	3.7

Table 2 Test fuel composition

Sample name	Gasoline	Ethanol	1-Butanol	Water
G100	100	0	0	0
GE5	95	5	0	0
GE10	90	10	0	0
GE15	85	15	0	0
GA5	95	2.5	2.5	0
GA10	90	5	5	0
GA15	85	7.5	7.5	0
GHE5	GE5=99		0	1
GHE10	GE10=99		0	1
GHE15	GE15=99		0	1

... 2vol.% Surfactant is mixed.
(HLB=7)

3. 実験結果

(1) 燃焼生成物排出濃度に及ぼす燃料性状

汎用燃料であるガソリンと代替燃料を添加した場合の排気特性を比較するために、ガソリン及びガソリンに5~15vol.%のエタノールを添加した場合（GE）の燃焼生成物排出濃度を Fig. 2~4 にそれぞれ示す。どの機関負荷においても若干の変動は観察されるが、エタノール添加率増大に伴ってCO及びHC濃度は減少し、NO_x濃度は増加している。これはエタノールの比較的高い蒸発潜熱とオクタン価による予混合燃焼割合の増加、さらに分子中に含まれている酸素原子による燃焼改善効果に起因すると考えられる⁽¹⁾。

同様にガソリンにエタノールと1-ブタノールを混合添加した場合（GA）の燃焼生成物排出濃度を Fig. 5~7 にそれぞれ示す。1-ブタノールの添加率増大に伴って、どの機関負荷においてもCO及びHC濃度は減少し、NO_x濃度は増大する傾向が観察された。なお、本実験範囲内ではGE及びGAの燃料性状及び添加率増加によるCO、HC、NO_x濃度の変動する負荷領域が観察されており、詳細な検討が必要である。

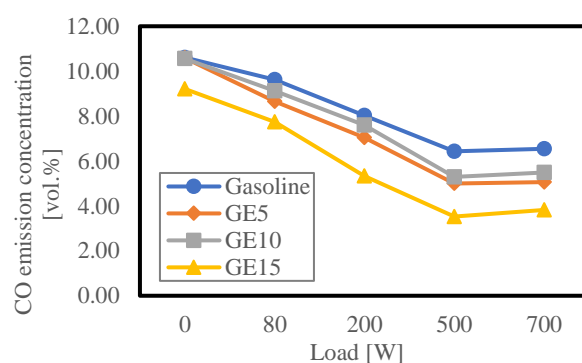


Figure 2 CO emission (Ethanol addition)

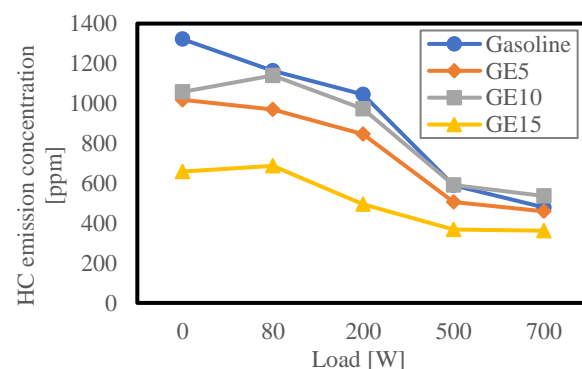
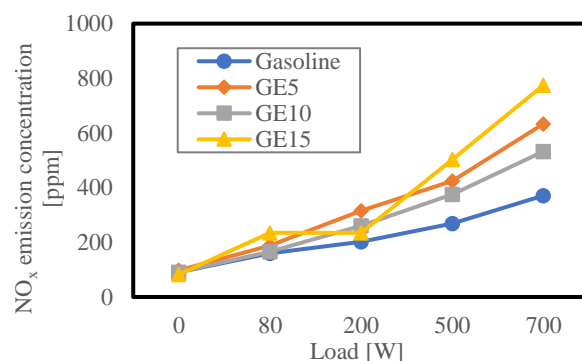


Figure 3 HC emission (Ethanol addition)

Figure 4 NO_x emission (Ethanol addition)

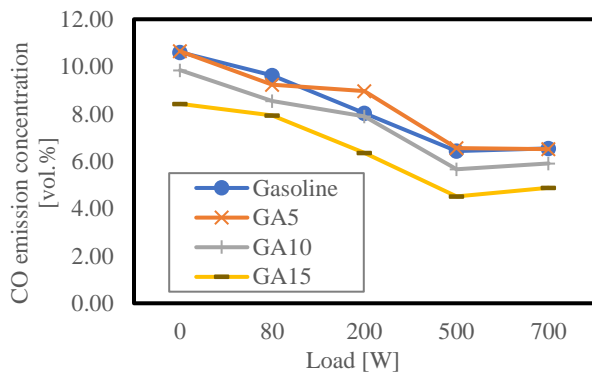


Figure 5 CO emission (Ethanol and 1-Butanol addition)

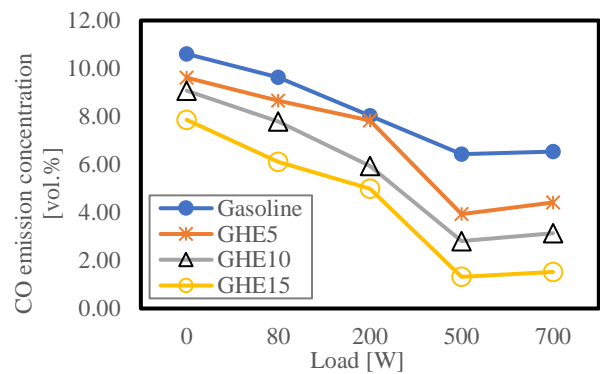


Figure 8 CO emission (GE and 1 vol.% water addition)

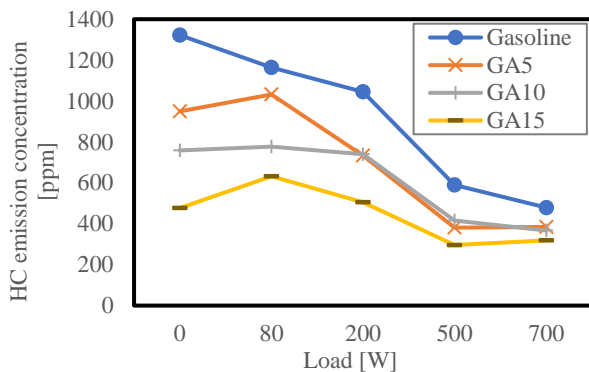


Figure 6 HC emission (Ethanol and 1-Butanol addition)

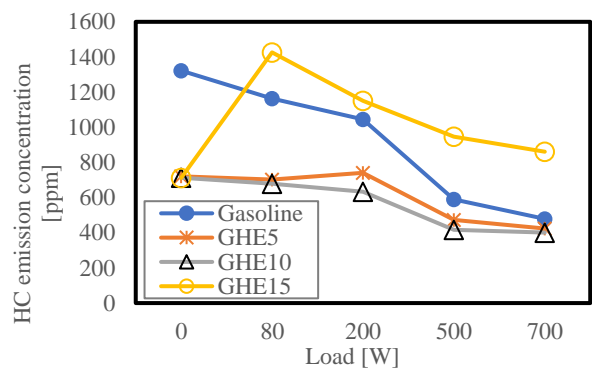


Figure 9 HC emission (GE and 1 vol.% water addition)

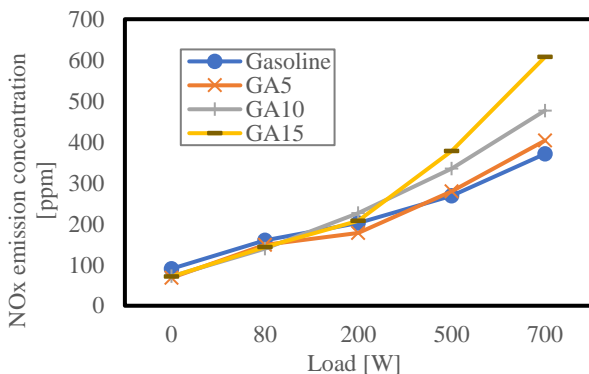


Figure 7 NO_x emission (Ethanol and 1-Butanol addition)

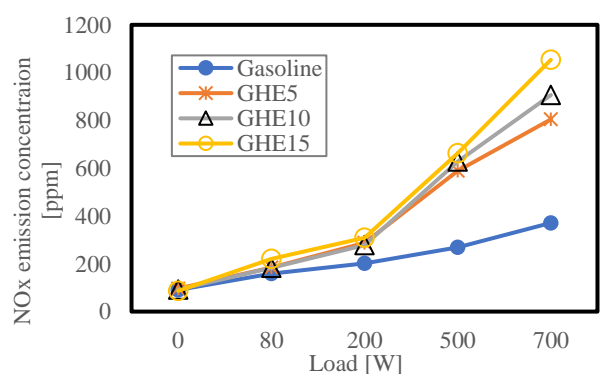


Figure 10 NO_x emission (GE and 1 vol.% water addition)

ここで、先の GE の各燃料生成物排出濃度に着目すると、GAを用いた場合には、各負荷条件においてGEと比較して、HC及びNO_xについて排出濃度の減少及びCOでは一部の添加率で増加傾向が観察された。特に高添加(GE15及びGA15)の高負荷(700W)では、NO_x濃度は約30%減少している。これは発熱量の差異による助燃効果及びCH比の相乗効果によるものと考えられる⁽²⁾。したがって、小型発電機に代替燃料を用いる場合には、燃焼生成物の詳細な検討が必要である。

ガソリンにエタノールと1vol.%の水を添加した場合(GHE)の燃焼生成物排出濃度をFig. 8~10にそれぞれ示す。GHEでは先のGEでの結果と同様にエタノール添加率増大に伴ってCO及びHC濃度が減少し、NO_x濃度が増加している。こ

で1vol.%程度の水混入による燃焼生成物に及ぼす影響に着目すると、例えば、GHE15では機関負荷によりHC排出濃度が著しい変動が観察されており、先と同様に機関負荷による変動割合の検討が必要である。

ただし、GHE15のCO排出濃度は先のGEと比較してどの負荷領域においても低下している。また、その減少率は中・高負荷領域において著しく増大している。1vol.%程度のわずかな水添加においても、CO排出濃度の低減は燃焼工学的にも極めて重要である。これは、水分子の熱分解により生じたOH等の活性基による燃焼促進効果と考えられるが、水添加による燃焼促進効果が発生したと仮定すると、当然、HC及びNO_x排出濃度にも影響が発生すると考えられる。HC排出

濃度は GE と比較すると、GHE5 及び GHE10 では GE5 及び GE10 と比較して減少しており、また、NO_x 濃度は中・高負荷領域において増大している。HC の減少及び NO_x の増大は、燃焼促進効果による燃焼温度の増大が重要な要因の 1 つであり、先の CO の結果と一致している。

本実験範囲内では、GHE15 を用いた場合には、機関負荷 80~700W においてガソリン単体を超える HC 排出濃度が観察された。詳細については現在も継続検討中であるが、本供試機関は小型発電用の 80cc エンジンであり、燃焼室形状による熱損失や流動が機関負荷により著しく変動することが予想され、さらに得られている最大排出量が 80W 条件（通常の運転範囲外）であることを明記しておく。

(2) 燃焼生成物排出濃度の変動

Fig. 11 に各負荷条件での燃焼生成物の排出割合の変動を評価するために CO, HC, NO_x 3 つの変動割合の平均値（以下、平均変動係数と呼ぶ）を示す。ここで、平均変動係数は以下の式を用いて算出した。

$$COV_{average} = \frac{\sum_{CO, HC, NO_x} \frac{\text{Standard deviation}}{\text{Arithmetic mean of emission}}}{3} \quad (1)$$

Fig. 11 より全試料で機関負荷 80W, 200W で顕著に燃焼生成物濃度の変動が増加し、500W, 700W になると著しく平均変動係数が低下している。これは、本供試機関は小型発電用機関であるため、定格出力が維持される中負荷及び高負荷（500W 及び 700W）での運転範囲が想定されており、機関回転数の変化に伴う燃焼安定領域を示すものである。ただし、低負荷領域（80W 及び 200W）において、ガソリン単成分を用いた場合も 0.25 ポイント程度の平均変動係数が観察されている。すなわち、各混合燃料のガソリン単体との変動係数の変化に対する検討が必要である。

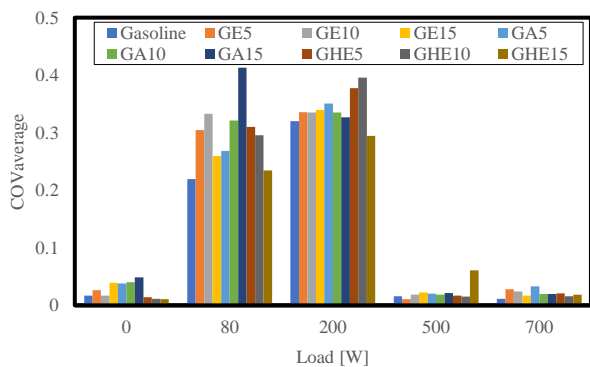


Fig. 11 COV_{average}

Fig. 12 に各負荷での Gasoline 単体燃料を基準とした変動係数の変化割合（VRCOV）を、燃料性状をパラメータ

として示す。変動係数の変化割合は以下の式に基づいて算出した。

$$VRCOV = \frac{COV_{addition\ fuel} - COV_{gasoline}}{COV_{gasoline}} \quad (2)$$

Fig. 12 から明らかなように、中負荷領域（500W）の GHE（水添加）及び高負荷（700W）において著しいガソリン単体との変動の差異が観察された。これは、発熱量の低い燃料成分の添加と水添加による燃焼温度の低下によるものと考えられる。また、1-ブタノール添加による変動の安定化も発生していない。今後、エタノール及び 1-ブタノールの高添加率及び水添加率の増大による燃焼生成物の低減効果や変動係数に及ぼす影響及びエタノール水溶液利用の可能性について検討予定である。

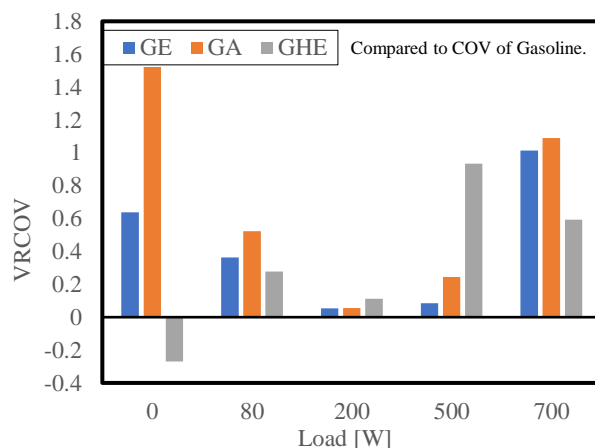


Fig. 12 Variation ratio of COV_{average}

4. 結言

本研究では、激甚災害時を含む緊急発電用の小型ガソリン機関の燃料性状に関する検討を、添加率 5~15vol.% のエタノール、1-ブタノール及び水添加混合燃料を用いて行った。以下に結果を示す。

- ・小型発電用ガソリン機関では、エタノール添加により、CO 及び HC 濃度の同時低減が可能である。

- ・小型発電用ガソリン機関では、どの添加燃料を用いた場合でも高負荷領域において燃焼生成物の平均変動係数の変動割合 VRCOV 値が増大する。

謝辞：本研究を行うにあたり、川上忠重教授には幾度と研究方針に関する相談に対応して頂きました。御礼申し上げます。また、排気配管組み立てにあたりご助言並びにご協力頂きましたワークショップの宮林様、横島様、そして共に研究に精進した武一石氏、玄田章人氏にも感謝致します。

参考文献

- (1) Meltem Göktaş, Mustafa Kemal Balki, Cenk Sayin, Mustafa Canakci, : An evaluation of the use of alcohol fuels in SI engines in terms of performance, emission and combustion characteristics : A review, Fuel 286 (2021) 119425
- (2) Ashraf Elfasakhany, : Investigation on performance and pollutant emissions of spark-ignition engines fueled with n-butanol—, isobutanol—, ethanol—, methanol—, and acetone—gasoline blends : A comparative study, Renewable and Sustainable Energy Reviews 71(2017)404-413